

Agricultura

Caracterización morfológica de la diversidad de razas de *Zea mays* en la Sierra norte de Ecuador

Morphological characterization of the diversity of *Zea mays* races in the northern Sierra of Ecuador

César Guillermo Tapia Bastidas¹; Nelly Judith Paredes Andrade^{2*}; Edwin Jesús Naranjo Quinaluisa¹; Marcelo Vicente Tacán Pérez¹; Álvaro Ricardo Monteros Altamirano¹; César Félix Pérez Ruiz³; Yolanda Marilú Valverde Vanegas⁴

¹ INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Panamericana sur km 1, Quito, Ecuador.

² INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía, Vía Sacha San Carlos km 3 de la entrada a la Parker, Orellana, Ecuador; Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Extensión Norte Amazónica.

³ Escuela de Biología de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

⁴ INIAP-Galápagos, Isla San Cristóbal, Puerto Baquerizo Moreno, Ecuador.

* Autor para correspondencia: nelly.paredes@iniap.gob.ec

Resumen

Ecuador tiene gran diversidad genética de maíz con 36 razas, seis de las cuales no están bien definidas. El objetivo de este trabajo fue caracterizar morfológicamente 129 accesiones provenientes de la zona norte de la Sierra de Ecuador, a fin de contribuir a la conservación de la agrobiodiversidad. Para la caracterización morfológica se utilizaron siete descriptores cualitativos y ocho cuantitativos. La similitud entre las accesiones se analizó con el agrupamiento de Ward y la distancia con el coeficiente de Gower. Se calculó el estadístico Chi-cuadrado (X^2), el coeficiente de Cramer (V) y el de contingencia (P) para identificar descriptores cualitativos más discriminantes y el índice D de Engels, para cuantitativos. Los análisis se realizaron con el programa SAS. El análisis de agrupamiento identificó cuatro grupos con las razas Morochón y Chulpi agrupadas en dos (G2 y G4, respectivamente). Las variables tipo de grano y forma de superficie del grano fueron las más discriminantes. Mayormente se observó accesiones con tipo de grano semidentado y forma de semilla puntiaguda. La variable longitud de mazorca fue la más discriminante, con promedios que estuvieron desde $11,15 \pm 2,46$ a $13,72 \pm 2,83$ cm. La Sierra norte se debe priorizar como área de conservación por encontrarse alta diversidad de razas de maíz.

Palabras clave: agrobiodiversidad; análisis cualitativo; análisis cuantitativo; descriptores.

Abstract

Ecuador has a large genetic diversity of maize with 36 races, six of which are not well defined. The objective of this study was to characterize morphologically 129 accessions deriving from the northern Sierra of Ecuador as a contribution to agrobiodiversity conservation. For the morphological characterization seven qualitative and eight quantitative descriptors were used. The similarity between the accessions was analyzed by Ward's grouping, the distance with the Gower coefficient. Chi-square statistic (X^2), the Cramer coefficient (V) and the contingency coefficient (P) were calculated to identify the most discriminating qualitative descriptors and the Engels D index for the quantitative descriptors. For statistical analyzes, the SAS program was used. Cluster analysis identified four groups where Morochón and Chulpi races were located in one group (G2 and G4 respectively). Descriptors such as endosperm type and shape of kernel were the most discriminants. Accessions presented mainly semi-dent type of endosperm and pointed shape of seed. Ear length was the most discriminant variable, with averages from $11,15 \pm 2,46$ to $13,72 \pm 2,83$ cm. The northern Sierra has a high diversity of maize races and should be prioritized as a conservation area.

Key words: agrobiodiversity; qualitative analysis; quantitative analysis; descriptors.



Recibido: 13 de abril, 2017
Aceptado: 5 de junio, 2017

Introducción

El maíz (*Zea mays*) ocupa el segundo lugar en producción agrícola a escala mundial, después de la caña de azúcar, y ocupará el primero para 2025 según las predicciones de Rosegrant *et al.* (2008). La producción mundial de la gramínea fue de 1 038 millones de toneladas superando los 967 millones de toneladas estimados para ese año. En Ecuador, en el año 2012, el maíz fue el quinto cultivo (6,7%) por detrás del arroz (7,8%), la palma africana (13,3%), el banano (35,2%) y la caña de azúcar (37,0%) (INEC, 2012). Aproximadamente el 60% de los productores agropecuarios del país siembra maíz en 404 873 Unidades Productivas Agropecuarias (MAGAP, 2015).

La diversidad de maíz ofrece múltiples opciones genéticas que hacen posible su persistencia en ciertos agroecosistemas y es fuente de resistencia a plagas y enfermedades (Tilman, 2000); además, es la base de la seguridad alimentaria de muchas comunidades (Le Coeur, Baundry, Burel, & Thenail, 2002; Marshall & Moonen, 2002; Paoletti, 2001) ya que ofrece a los agricultores la materia prima para la selección y la adaptación de forma continua a las condiciones cambiantes del ambiente (Herrera *et al.*, 2004).

Muestras arqueológicas de maíz de Sur América fueron analizadas mediante estudios de caracterización molecular, reportándose que la gramínea estaba presente desde hace 400 a 1400 años a.C. (Lia *et al.*, 2007), lo que ha llevado a considerar a la región andina y en particular Ecuador como uno de los centros de diversidad más importantes para el maíz, desde tiempos inmemoriales. Marcos (2005) mostró evidencias al respecto, al encontrar en las localidades de Real Alto y las Vegas (provincia de Santa Elena), fitolitos de maíz con más de seis mil años de antigüedad, además de instrumentos para su siembra y procesamiento.

El maíz presenta una gran variabilidad en color, textura, composición y apariencia de grano. Puede ser clasificado en distintos tipos según: a) tipo del grano; b) color del grano; c) ambiente en el que se cultiva; d) madurez, y e) uso (Badstue,

Bellon, Berthaud, Ramírez, & Flores, 2007; Dyer & López-Feldman, 2013). Los tipos de maíz que se han difundido en la zona andina son: duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso, cristalino, amiláceo, palomero semiharinoso o Morocho y tunicado (Paliwal, Granados, Lafitte & Violic, 2001; Carrera, 2009). Pandey y Gardner (1992) mencionaron que en el hemisferio occidental se han descrito 285 razas de maíz, de las cuales 265 están presentes en América Latina, la mayoría de ellas en América del Sur.

En Ecuador se reconocen 29 razas de maíz, 17 presentes en la Sierra (seis de las cuales no están bien definidas) y las restantes en las regiones Litoral y Amazónica. Esta clasificación se basa en 675 colecciones estudiadas en relación con los caracteres de la mazorca. La gran diversidad de razas que hay en Ecuador tiene relación con la historia y la geografía del país (Timothy *et al.*, 1966). Tapia, Torres, y Parra-Quijano (2015) describieron la distribución de 26 razas de maíz criollo a lo largo de Los Andes ecuatorianos, sin embargo previamente las familias de Cotacachi (2010), ya habían descrito 12 razas presentes en su jurisdicción (provincia de Imbabura).

En este contexto, la caracterización morfológica es fundamental para la conservación de la diversidad de variedades tradicionales de maíz ya que permite identificar alelos favorables para la producción agrícola que no han sido totalmente utilizados (Tarter, Goodman & Holland, 2004), pero han contribuido a los incrementos de la producción mediante la generación de variedades mejoradas (Smith, Castillo & Gómez, 2001). Con estos antecedentes, el propósito de este estudio fue caracterizar la diversidad de las razas botánicas de maíz en la Sierra norte de Ecuador, utilizando descriptores morfológicos.

Metodología

Área de estudio

El presente estudio fue realizado en las zonas altas de las provincias de Carchi e Imbabura, cuyo clima es muy variado y con temperaturas entre 10 °C y 15 °C, debido a la presencia de

la cordillera de Los Andes. Las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 y 2 000 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y de octubre a noviembre. La estación seca principal, de junio a septiembre, es generalmente muy marcada respecto a la segunda, aunque pueden presentarse variaciones edáficas a cortas distancias derivadas de la pendiente y la altitud. Los suelos predominantes son profundos, de textura media a gruesa y con un contenido en materia orgánica media a alta (World Climate, 2016).

Material genético

En la Figura 1 se indica dónde fueron obtenidas las 129 accesiones estudiadas producto de

colectas realizadas en 2009 (Tapia *et al.*, 2015) en zonas productoras de las provincias de Imbabura y Carchi. Previamente, mediante Sistemas de Información Geográfica, se identificaron zonas que estuvieran poco (o nada) representadas en el banco de germoplasma del INIAP. Tomando como base esta información, se planificaron dos expediciones (una por provincia), haciendo coincidir los viajes con la época de la cosecha. Para la recolección del germoplasma se aplicaron los procedimientos y metodologías recomendados por el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos del INIAP, así como los protocolos sugeridos en el Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal de la FAO (FAO, 1994). La recolección se hizo directamente en las fincas.

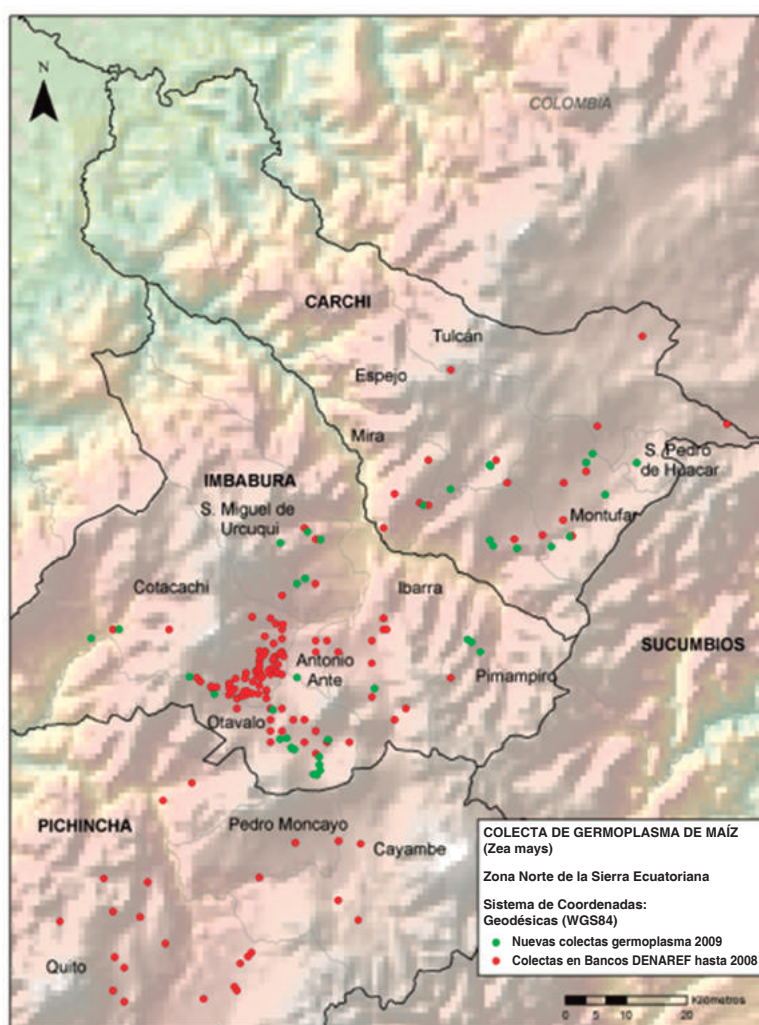


Figura 1. Mapa de colectas realizadas en las provincias de Carchi e Imbabura durante 2009.

Caracterización morfológica

Las accesiones colectadas fueron caracterizadas morfológicamente tomando como base los descriptores de maíz de Bioversity International (IBPGR, 1991). Entre los descriptores propuestos se seleccionaron los más discriminantes para diferenciar las razas. En total se utilizaron 15 descriptores: siete cualitativos (color de tallo, forma de la mazorca, disposición de hileras, color del olote, tipo de grano, forma del grano y color del pericarpio) y ocho cuantitativos (altura de planta, longitud de la panoja, longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca, número de hileras, diámetro del olote, número de granos por mazorca y longitud del grano) (Figura 1).

La similitud entre las accesiones caracterizadas se analizó por medio del agrupamiento jerárquico

de Ward (1963). Para ello se calculó una matriz de distancia entre todos los posibles pares de accesiones aplicando el coeficiente de Gower (1967), mismo que permitió combinar los descriptores cualitativos y cuantitativos después de procesar cada uno de ellos de acuerdo a su propia naturaleza.

Una vez construido el fenograma, la elección del número de grupos se basó en los estadísticos pseudo F y pseudot² (Milligan & Cooper, 1985). Posteriormente, se calculó el estadístico Chi-cuadrado (X^2) (Cochran, 1954), el coeficiente de Cramer (V) (Kendall & Stuart, 1979) y el coeficiente de contingencia (P) (Fienberg, 1977) para identificar los descriptores cualitativos más discriminantes y el índice D de Engels (1983), para los descriptores cuantitativos. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (versión 6.12).

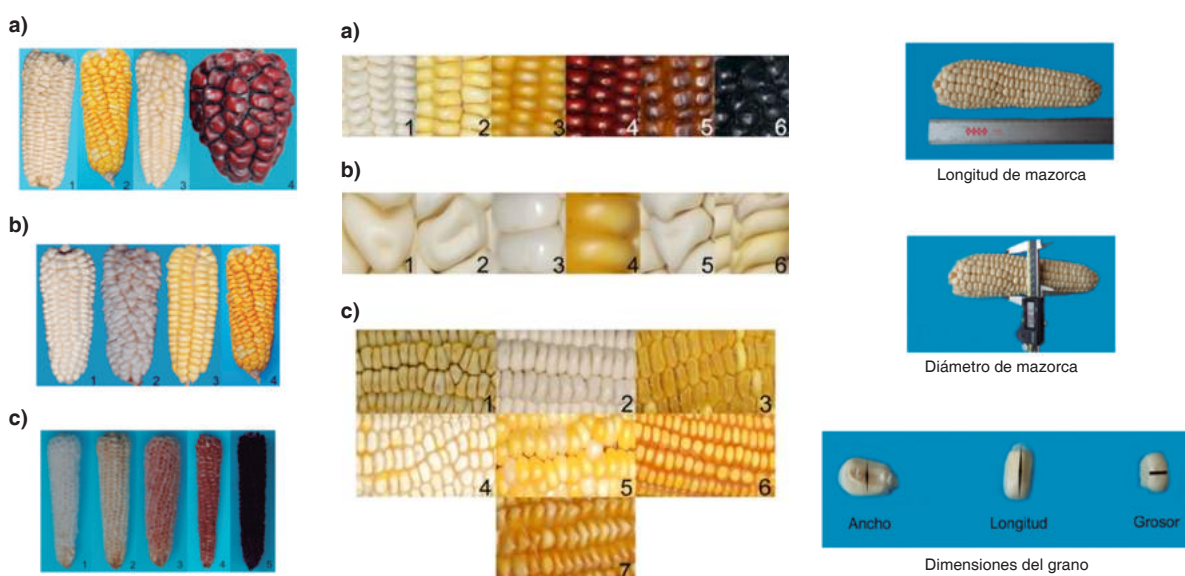


Figura 1. I. Variables cualitativas de la mazorca y categorías consideradas. a) Forma de la mazorca: 1. Cilíndrica, 2. Cilíndrica-cónica, 3. Cónica, 4. Esférica; b) Disposición de las hileras: 1. Regular, 2. Irregular, 3. Recta, 4. En espiral; c) Color del olote: 1. Blanco, 2. Amarillo, 3. Naranja grisáceo, 4. Rojo, 5. Púrpura; II. Variables cualitativas del grano y categorías consideradas. a) Color del grano: 1. Blanco, 2. Amarillo, 3. Naranja, 4. Rojo, 5. Café, 6. Púrpura; b) Forma del grano: 1. Contraído, 2. Dentado, 3. Plano, 4. Redondo, 5. Puntiagudo, 6. Muy puntiagudo; c) Tipo de endosperma: 1. Harinoso, 2. Semiharinoso, 3. Dentado, 4. Semidentado, 5. Semicristalino, 6. Cristalino, 7. Reventador; y, III. Variables cuantitativas utilizadas para la caracterización de colectas de maíz de la Sierra norte de Ecuador.

Resultados

En la Tabla 1 se presentan los coeficientes de variación que están en los rangos permitidos para investigaciones en campo, dada la influencia que el ambiente ejerce en los caracteres cuantitativos.

A través del agrupamiento jerárquico de Ward (1963) se obtuvo como resultado el fenograma de la Figura 2. Según los estadísticos pseudo F y pseudot2 se forman cuatro grupos de accesiones. El grupo más numeroso fue el G1 con 49 accesiones (38,0%), seguido de los grupos G3 con 34 accesiones (26,4%), G4 con 27 accesiones (20,9%) y G2 con 19 accesiones (14,7%). El grupo G1 agrupó accesiones de las razas Chillo (17), Mishca (14), Blanco Blandito (6), Huandango (4), Mishca Chillo (1) y Mishca Huandango (1). El grupo G2 está bien definido y compuesto mayoritariamente por accesiones de la raza Morochón (16,84%). Las restantes accesiones que forman este grupo fueron identificadas como Huandango (1), Chillo (1) y Blanco Blandito (1). El grupo G3 presenta una composición similar al G1 con la diferencia en el tipo de grano, harinoso. Está

formado por accesiones de la raza Mishca (14), Chillo (8), Huandango (5) y Blanco Blandito (3). Finalmente, el G4 está formado principalmente por accesiones de la raza Chulpi Ecuatoriano (18). En este grupo existe un subgrupo formado por accesiones de las razas Racimo de Uva (2), Mishca (2), Cuzco Ecuatoriano (1), Canguil (1) y Huandango (1), que posiblemente se ubicaron en esta zona del fenograma por tener características similares en cuanto al tipo de grano (dentado).

Es importante mencionar que las accesiones identificadas como Racimo de Uva se ubicaron en dos ramas diferentes del fenograma, detectándose que dentro de esta raza puede haber germoplasma con características diferentes en cuanto al tipo y forma del grano. Las mayores distancias se presentaron entre G4 y G3, y entre G2 y G1. Por el contrario, los grupos más relacionados fueron el G2 y el G3. Es decir, que el grupo de la raza Chulpi Ecuatoriano es el más distante morfológicamente con relación a los otros tres grupos, en cambio el grupo de la raza Morochón está muy relacionado con las razas harinosas y semidentadas (Figura 2).

Tabla 1. Estadísticos de los ocho descriptores cuantitativos utilizados en la caracterización morfológica de las 129 accesiones de maíz recolectadas en 2009, en el norte de la Sierra de Ecuador.

Descriptor	n	Mínimo	Máximo	$\mu \pm \sigma$	CV (%)
Altura de planta (cm)	10	66,0	285,0	141,1 \pm 35,1	24,9
Longitud de la panoja (cm)	10	10,0	43,0	31,6 \pm 5,3	16,8
Longitud de la mazorca (cm)	10	6,8	19,8	12,5 \pm 2,6	21,0
Diámetro de la mazorca (cm)	10	1,9	6,7	4,5 \pm 0,7	15,6
Número de hileras	10	8,0	24,0	11,9 \pm 2,6	22,2
Diámetro del olote (cm)	10	1,6	6,2	2,5 \pm 0,5	19,7
Nº granos por mazorca	2	96,0	542,0	241,0 \pm 75	31,1
Longitud del grano (mm)	10	8,0	16,0	12,0 \pm 1,9	15,5

n: tamaño muestral; μ : media aritmética; σ : desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

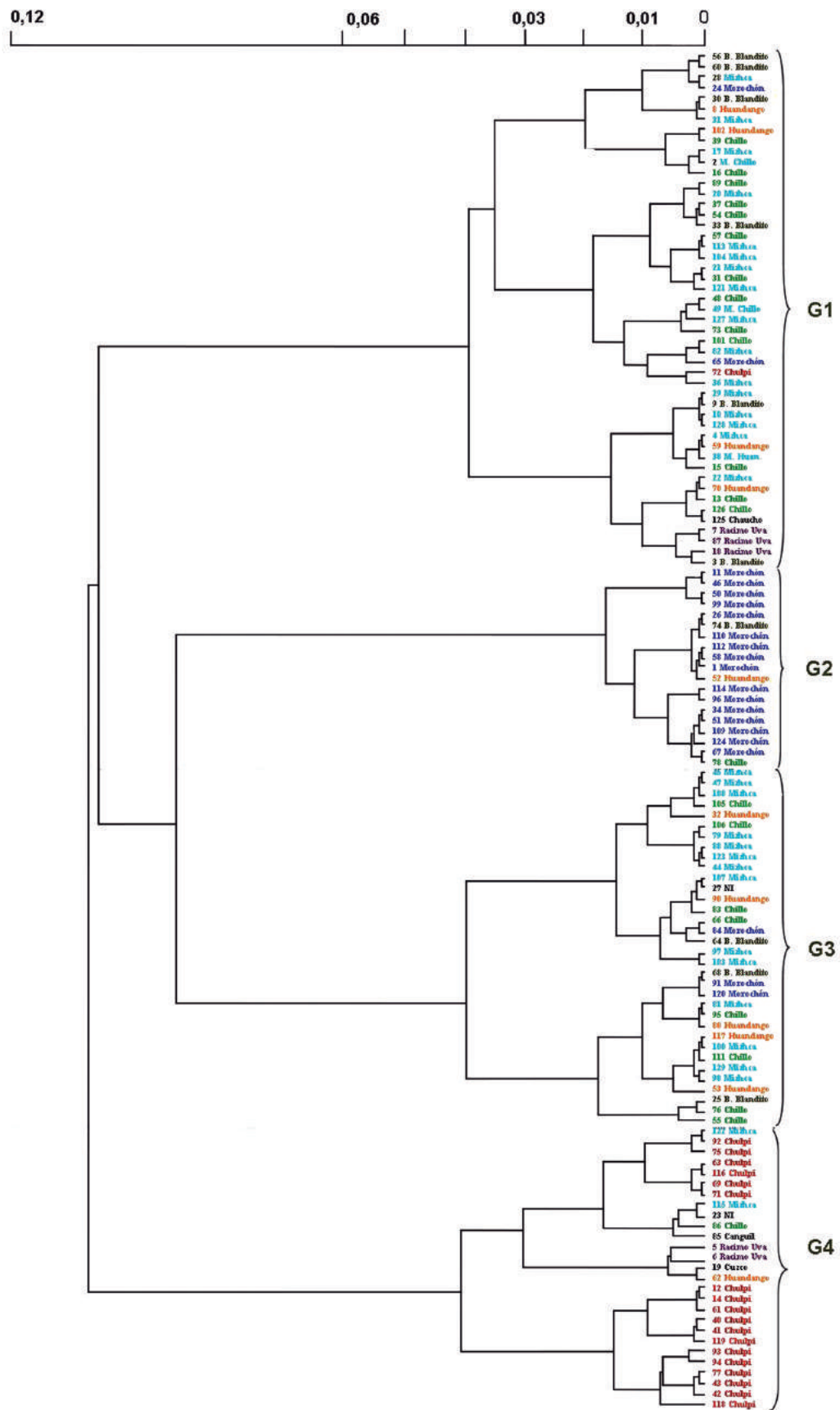


Figura 2. Fenograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de Ward de las 129 accesiones de maíz colectadas en la sierra norte de Ecuador, basado en la distancia de Gower.

De los siete caracteres analizados mediante la prueba de X^2 , se detectaron seis de ellos con alta significancia (1%) (Tabla 2). Estos resultados indican que la mayoría de los descriptores utilizados aportan información para definir razas y para separar grupos de accesiones similares. El tipo y forma del grano fueron los descriptores con mayor valor discriminante ($X^2 = 267,35$ y $228,72$, respectivamente) y con los coeficientes de asociación más altos ($P = 1,44$ y $1,33$; $V = 0,83$ y $0,77$).

En la Tabla 3 se detallan las frecuencias para los descriptores cualitativos más discriminantes. Para el tipo de grano, el grupo G3 presentó

un mayor porcentaje de accesiones con tipo harinoso. En relación a la forma del grano, los grupos G1 y G4 presentaron cinco de los seis estados posibles. En el G2 casi todas las accesiones tuvieron grano redondo y en el G3 predominaron las accesiones de grano plano. Para el color del pericarpio, los grupos G1, G2 y G3 presentaron grano de color amarillo, mientras que en el grupo G4 el color predominante fue el naranja. La forma de la mazorca fue cilíndrica y cilíndrica-cónica en los cuatro grupos. Para disposición de hileras, los cuatro grupos presentaron una disposición regular e irregular, y solamente en el G1 no se observó el estado de hileras rectas.

Tabla 2. Descriptores cualitativos de mayor valor discriminante entre los cuatro grupos de accesiones obtenidos en el agrupamiento jerárquico de Ward.

Descriptor	X^2	Coeficiente de contingencia	Coeficiente de Cramer
Tipo de endospermo	267,35**	1,44	0,83
Forma del grano	228,72**	1,33	0,77
Color del pericarpio	48,72**	0,62	0,36
Color del olote	44,79**	0,59	0,34
Forma de la mazorca	39,10**	0,55	0,32
Disposición de hileras	23,55**	0,43	0,25

** = Significancia estadística al 1%

Tabla 3. Frecuencia de los estados para los caracteres cualitativos con mayor poder discriminante para cada uno de los grupos obtenidos en el agrupamiento jerárquico de Ward.

Descriptor	G1	G2	G3	G4
Tipo de endospermo				
Harinoso	7	-	23	-
Semiharinoso	2	19	4	-
Dentado	3	-	-	10
Semidentado	35	-	1	-
Semicristalino	0	-	5	-
Cristalino	2	-	-	17
Reventador	0	-	1	-
Forma del grano				
Contraído	2	1	-	10
Dentado	3	-	-	4
Plano	4	-	28	2
Redondo	2	18	6	-
Puntiagudo	38	-	-	4
Muy puntiagudo	-	-	-	7

Color del pericarpio				
Blanco	3	6	2	-
Amarillo	27	10	25	5
Naranja	12	2	3	14
Rojo	2	-	2	5
Café	5	1	2	2
Púrpura	-	-	-	1
Color del olote				
Blanco	9	15	16	18
Amarillo	7	4	2	-
Naranja grisáceo	1	-	1	2
Rojo	22	-	14	4
Púrpura	10	-	1	3
Forma de la mazorca				
Cilíndrica	19	14	16	11
Cilíndrica-cónica	29	5	18	7
Cónica	-	-	-	1
Esférica	1	-	-	8
Disposición de hileras				
Regular	22	7	18	3
Irregular	15	5	8	17
Recta	-	3	2	1
En espiral	12	4	6	6

En la Tabla 4 se observan los cinco caracteres cuantitativos con mayor valor discriminante de los ocho medidos, observándose que los descriptores relacionados con la mazorca y el grano fueron los que permitieron diferenciar los cuatro grupos. Además, se detectó que las accesiones, dentro de los grupos, mantienen una relación estrecha, es decir, no existe mucha variación ya que presentan

valores pequeños de desviación estándar, a excepción del número de granos por mazorca. El G4 presentó accesiones con los mayores valores de número de hileras por mazorca, número de granos por mazorca, longitud del grano y diámetro de la mazorca. En cambio, el G2 presentó los menores valores para estas variables. En longitud de la mazorca se destacó el G3.

Tabla 4. Caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre grupos de accesiones de la colecta de maíz realizada en las provincias de Imbabura y Carchi.

Descriptor	G1	G2	G3	G4	D**
Diámetro de la mazorca (cm)	4,66 ± 0,69*	4,00 ± 0,38	4,52 ± 0,55	4,76 ± 0,91	0,25
Número de hileras	11,35 ± 1,39	10,63 ± 1,80	11,09 ± 1,56	14,96 ± 3,62	0,25
Longitud del grano (mm)	12,34 ± 1,75	10,31 ± 1,73	11,09 ± 1,56	12,42 ± 2,05	0,25
Nº de granos por mazorca	220,43 ± 45,71	221,05 ± 77,74	236,06 ± 58,86	300,67 ± 102,69	0,25
Longitud de la mazorca (cm)	12,29 ± 2,23	13,02 ± 2,57	13,72 ± 2,83	11,15 ± 2,46	0,66

*= Promedio del carácter para el grupo y desviación estándar

**= El valor de D con valor de 0 indica baja discriminancia, y 1 alta discriminancia

Discusión

Se observó una alta variabilidad intraraza, posiblemente debido a la cercanía geográfica entre las zonas de cultivo, encontrándose poblaciones en “mezcla” que dificultan la cuantificación de la diversidad, ya que este tipo de poblaciones presenta mazorcas con granos de diferente forma, color y tipo de endospermo.

De igual forma, en el análisis de la variabilidad morfológica se detectó que los datos están dentro de los rangos observados en el estudio realizado por Timothy *et al.* (1966), incluso Tapia (2015) observó que la variabilidad intraraza ha aumentado, posiblemente debido a la cercanía geográfica entre razas, encontrándose categorías que no fueron definidas para ciertas razas, como por ejemplo Chulpi Ecuatoriano. Es por esto que Scheldeman y van Zonneveld (2010), recomiendan utilizar caracteres cualitativos que no son influenciados por el ambiente cuando se realice la caracterización *in situ* en lugares ambientalmente heterogéneos.

En relación a la “mezcla”, se observó una alta variación morfológica que posiblemente se deba al gran número de razas presentes en terrenos contiguos, lo que ocasiona la polinización cruzada. La pregunta que surge es: ¿la “mezcla” es beneficiosa o no? Desde el punto de vista de la conservación de la diversidad, podría ser beneficiosa por el aumento de la heterocigosidad, pero, desde el punto de vista económico, para los agricultores puede no serlo, ya que no son apreciadas en el mercado las mazorcas con diferentes tipos de colores y de endosperma. Desde el punto de vista de mejoramiento, en investigaciones realizadas por Gil, López, Muñoz y López (2004) fueron encontradas variedades nativas que poseen mejores características en términos de comportamiento, debido a su amplia variación genética intrapoblacional y a su buen comportamiento *per se*, ventajas que pueden aprovecharse con fines de mejoramiento genético.

Los descriptores discriminantes identificados en esta investigación, concuerdan con los escogidos

por Rocandio-Rodríguez *et al.* (2014) y López-Morales *et al.* (2014). De igual forma, Timothy *et al.* (1966), al caracterizar las razas de maíz en Ecuador, encontraron una interesante variabilidad en tonalidades que van desde el naranja hasta el púrpura, el mismo comportamiento encontrado en este estudio. Del mismo modo, Hortelano, Gil, Santacruz, Miranda, & Córdova (2008), señalan que la variación genética existente puede agruparse de acuerdo con el color del grano.

Los resultados del fenograma indican una mayor hibridación entre las razas de tipo harinoso, mientras que las razas Morochón y Chulpi Ecuatoriano mantienen en mayor grado las características propias de su raza. Este resultado podría ser consecuencia del manejo que el agricultor hace de las razas (en relación a la época de siembra) o bien a diferencias genéticas en cuanto a precocidad. Esta hipótesis que concuerda con Gil, López, Muñoz & López (2004), quienes manifiestan que la precocidad es común entre las poblaciones nativas, variabilidad que es atribuible a la selección efectuada durante generaciones por los productores.

El tipo de grano que presentaron las razas Huandango, Chillo y Blanco Blandito en el G2, no es propio de sus razas (harinoso), sino que coincide con el de la raza Morochón (semiharinoso). Es muy posible que las tres accesiones de estas tres razas estén en un proceso de introgresión, más si tenemos en cuenta que fueron recolectadas en fincas donde también se cultivaba la raza Morochón.

La gran variabilidad morfológica y de razas en la Sierra Norte, es producto de la diversidad cultural (Galluzzi, Eyzaguirre & Negri, 2010) y étnica. Por ejemplo, los agricultores del cantón Otavalo (Imbabura), utilizan las razas locales en rituales como en el festejo milenario de “El Coraza”, en el cual viven la religiosidad ancestral centrada en el ciclo agrícola anual del maíz (Coba, 1989), al igual que en Chiapas, México (Benz, Perales & Brush, 2007; Brush & Perales, 2007). Otra costumbre de gran relevancia para el mantenimiento de las razas, es el uso en las recetas de la gastronomía ancestral de las

comunidades indígenas que se preparan hasta la actualidad en la cocina contemporánea, como el “choclo cocinado” (mazorca con el grano tierno cocinado), el mote (grano hervido con cenizas o cal para ser pelado y luego cocinado) o la “chicha de jora” (una bebida elaborada a partir de granos de varias razas de maíz), entre otras.

La variabilidad morfológica encontrada en este estudio que se ve reflejada en el fenotipo de las razas, es producto de la diversidad genética expresada en multiplicidad de frecuencias alélicas presentes en estas razas. Esta diversidad en áreas relativamente pequeñas y contiguas, hace que exista mayor segregación, expresión genética, adaptaciones específicas y alta variabilidad que es de utilidad como fuente importante de nuevos alelos para mejoradores de maíz en todo el mundo (Cardona, 2010).

Conclusiones

En esta investigación se logró identificar 13 razas botánicas de maíz en las provincias de Carchi e Imbabura.

Dentro de los descriptores morfológicos utilizados en este estudio, el tipo de grano, forma del grano y longitud de la mazorca son los descriptores más discriminantes para identificación de razas.

En esta investigación se logró identificar 13 razas botánicas de maíz en las provincias de Carchi e Imbabura. Los materiales presentan una gran variabilidad fenotípica, notándose que las razas identificadas como Huandango, Mishca, Chillo y Blanco Blandito son similares morfológicamente como resultado, posiblemente, de un proceso introgresión, mientras que las accesiones identificadas como Morochón y Chulpi Ecuatoriano mantuvieron en mayor grado las características propias de su raza.

Se evidenció que la sierra norte es una zona de alta diversidad de razas de maíz, y dentro del análisis general de la diversidad de maíz en Ecuador, se debería priorizar esta zona, como un área de conservación.

Referencias bibliográficas

- Badstue, I., Bellon, M., Berthaud, J., Ramírez, A. & Flores, D. (2007). The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the central valleys of Oaxaca, Mexico. *World Devel*, 35(9), 1579-1593. doi:10.1016/j.worlddev.2006.05.023
- Benz, B.F., Perales, H.R. y Brush, S.B. (2007). Tzeltal and Tzotzil farmer knowledge and maize diversity in Chiapas, Mexico. *Curr Anthropol* 48, 289-300.
- Brush, S.B. & Perales, H. (2007). A maize landscape: Ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agr Ecosyst Environ*, 121, 211-221. doi:10.1016/j.agee.2006.12.018
- Cardona, J. (2010). Análisis de diversidad genética de las razas colombianas de maíz a partir de datos Roberts *et al.*, (1957) usando la estrategia Ward-MLM. *Cienciagro*, 2, 1, 199-207.
- Carrera, J. (2009). *Los colores del maíz. Agrobiodiversidad campesina del maíz en el Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Coba, C.A. (1989). Comentarios a una fiesta que ha muerto: el Coraza. *Sarance* 13, 99-104.
- Cochran, W. (1954). Some methods for strengthening the common X^2 tests. *Biometrics* 10(4), 417-451. DOI: 10.2307/3001616
- Dyer, G.A. & López-Feldman, A. (2013). Inexplicable or Simply Unexplained? The Management of Maize Seed in Mexico. *PLoS ONE*, 8(6), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068320>
- Engels, J.M. (1983). A systematic description of cacao clones. 1. The discriminative value of quantitative characteristics. *Euphytica* 32, 377-385.
- Familias de Cotacachi. (2010). *Cantón Cotacachi, catálogo de agrobiodiversidad*. Quito, Ecuador. UNORCAC, INIAP, Bioversity International, USDA, PL480.
- FAO. (1994). Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal. Roma, Italia.
- Fienberg, S. (1977). *The analysis of cross-classified data*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Galluzzi, G., Eyzaguirre, P. & Negri, V. (2010). Home gardens: neglected hotspots of agrobiodiversity and cultural diversity. *Biodivers Conserv* 19, 3635-3654. DOI: 10.1007/s10531-010-9919-5
- Gil, M.A., López, P.A., Muñoz, A. & López, H. (2004). *Variedades criollas de maíz (Zea mays L.) en el Estado de Puebla, México: diversidad y utilización*. En: Chávez-Servia, J.L., Tuxill, J. y Jarvis, D.I. (Ed.). *Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales*. (pp: 18-25). Cali, Colombia. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Gower, J. (1967). A comparison of some methods of cluster analysis. *Biometrics*, 23(4), 623-637. DOI: 10.2307/2528417
- Herrera, B.E., Castillo, F., Sánchez, J.J., Hernández, J.M., Ortega, R.A. y Goodman, M.M. (2004). Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38, 191-206.
- Hortelano, S.R., Gil, A., Santacruz, A., Miranda, S. y Córdova, L. (2008). Diversidad morfológica de maíces nativos en el Valle de Puebla. *Agric Tec Mex*, 34(2), 189-200. Recuperado de <http://bit.ly/2o46naz>
- IBPGR. (1991). *Descriptors for Maize*. Rome, Italy. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources.
- INEC. (2012). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC-2012. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito, Ecuador.
- Kendall, M. & Stuart, A. (1979). *The advanced theory of statistics*. New York, USA. Volumen 2: Macmillan Publishing Company, Inc.
- Le Coeur, D., Baundry, J., Burel, F. & Thenail, C. (2002). Why and how we should study field boundary biodiversity in an agrarian landscape. *Agr Ecosyst Environ*, 89, 23-40.
- Lia, V.V., Confalonieri, V.A., Ratto, N., Cámara-Hernández, J.A., Miente-Alzogaray, A.M., Poggio, L. & Brown, T.A. (2007). Microsatellite typing of ancient maize: insights into the history of agriculture in southern South America. *Proc R Soc B*, 274, 545-554. doi:10.1098/rspb.2006.3747
- López-Morales, F., Taboada-Gaytán, O., Gil-Muñoz, A., López, P.A. & Reyes-López, D. (2014). Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 1, 19-31
- MAGAP. (2015). *La Política Agropecuaria Ecuatoriana (2015-2025). Hacia el desarrollo territorial rural sostenible. I parte*. Quito, Ecuador: MAGAP.
- Marcos, J. 2005. Los pueblos navegantes del Ecuador pre-hispánico. Ediciones Abya Yala/ Espol, Quito, Ecuador, p. 206.
- Marshall, E.J.P. & Moonen, A.C. (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agr Ecosyst Environ* 89, 5-21.
- Milligan, G.W. & Cooper, M.C. (1985). An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*, 50(2), 159-179.
- Paliwal, R., Granados G., Lafitte, H. & Volic, A. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Grupo de Cultivos Alimentarios Extensivos*. Roma, Italia. Servicio de Cultivos y Pastos. Dirección de Producción y Protección Vegetal de la FAO.
- Pandey, S. y Gardner, C.O. (1992). Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Adv Agron*, 48, 1-87. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60935-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60935-9)
- Paoletti, M. (2001). *Biodiversity in agroecosystems and bioindicators of environmental health*. En: M. Shiyomi, Koizumi, H. (Ed.). *Structure and function in agroecosystems design and management advance in agroecology*. (pp: 11-44). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., López-Sánchez, H., Castillo-González, F., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J. & Ortega-Paczka, R. (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37, 4, 351-361
- Rosegrant, M.W., Msangi, S., Ringler, C., Sulser, T.B., Zhu, T. & Cline, S.A. (2008). *International*

- model for policy analysis of agricultural commodities and trade (IMPACT): Model Description*. Washington D.C: International Food Policy Research Institute. Recuperado de <http://bit.ly/2rDE9EF>
- Scheldeman, X. y van Zonneveld, M. (2010). *Training Manual on Spatial Analysis of Plant Diversity and Distribution*. Rome, Italy. Bioversity International.
- Smith, M.E., Castillo, G. & Gómez, F. (2001). Participatory plant breeding with maize in México and Honduras. *Euphytica*, 122(3), 551–565. DOI: 10.1023/A:1017510529440
- Tapia, C. (2015). Identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la Sierra de Ecuador. Tesis. Dr. E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 184 p.
- Tapia, C., Torres, E. & Parra-Quijano, M. (2015). Searching for Adaptation to Abiotic Stress: Ecogeographical Analysis of Highland Ecuadorian Maize. *Crop Science*, 55(1), 262-274. DOI:10.2135/cropsci2013.12.0813
- Tarter, J.A., Goodman, M.M. & Holland, J.B. (2004). Recovery of exotic alleles in semiexotic maize inbreds derived from crosses between Latin American accessions and a temperate line. *Theor Appl Genet*, 109, 609–617. DOI: 10.1007/s00122-004-1660-6
- Tilman, D. (2000). Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*, 405, 208-211. Recuperado de <http://go.nature.com/2rYXrAD>
- Timothy, D.H., Hatheway, W.H., Grant, U.J., Torregroza, M.A., Sarria, V.D. y Varela, A.J. (1966). *Razas de maíz en Ecuador*. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. Boletín Técnico - Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia). No. 12.
- Ward, Jr. J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301):236-244.
- WorldClimate. (16 de 05 de 2016). WorldClimate. Obtenido de <http://www.worldclimate.com>